

УДК 632.952:633.11“321”

КОМБИНИРОВАННЫЕ ТРИАЗОЛЬНЫЕ ПРОТРАВИТЕЛИ И ИХ ВЛИЯНИЕ НА РОСТ И РАЗВИТИЕ ПРОРОСТКОВ ЯРОВОЙ ПШЕНИЦЫ[§]

© 2023 г. А. Ю. Кекало^{1,*}, С. С. Халиков², М. М. Ильин²,
Н. Д. Чкаников², Н. Ю. Заргарян¹

¹Уральский федеральный аграрный научно-исследовательский центр УрО РАН
620142 Екатеринбург, Свердловская обл., ул. Белинского, 112а, Россия

²Институт элементоорганических соединений им. А.Н. Несмеянова РАН
119334 Москва, ул. Вавилова, 28, стр. 1, Россия

*E-mail: alena.kekalo@mail.ru

Поступила в редакцию 01.03.2023 г.

После доработки 12.04.2023 г.

Принята к публикации 15.07.2023 г.

Протравливание семян фунгицидами является определяющим звеном в системе защиты растений, и наилучший эффект дают системные препараты. Поэтому очень важна разработка научных основ приготовления комплексных препаратов с низкой нормой расхода действующего вещества и включением регуляторов роста растений, усиливающих ростовые процессы и урожайность основной культуры. В последние годы перспективны направления модификации известных и практикуемых фунгицидов различными методами, в том числе методами механохимии. Остается актуальной проблема создания как новых субстанций, так и их эффективных рецептур. Учитывая перспективность и высокую эффективность триазольных фунгицидов в системе комплексной защиты растений, предложено создание поликомпонентных протравителей семян зерновых культур. Целью настоящего исследования была разработка препаратов на основе тебуконазола (ТБК) и пропиконазола (ППК) в виде твердых дисперсий (ТД) и изучение их биологической активности на растениях яровой пшеницы в условиях Зауралья. При этом также изучили ретардантный эффект этих триазолов с помощью отечественного регулятора роста Флороксан. Применение новых препаратов на яровой пшенице позволило добиться снижения поражения культуры корневой гнилью на 85–87%, продуктивная кустистость возрастала на 6–11% по сравнению с контролем без обработки. Достоверная прибавка урожайности культуры 2,2 ц/га или 14% получена при использовании препарата 2 (ТД состава ТБК : ППК : АГ : силика = 1 : 1 : 7 : 1 + Флороксан при включении в композицию полисахарида (АГ) и вспомогательного вещества силика). Включение в состав протравочной смеси регулятора роста Флороксан снижало ретардантное действие тебуконазола и стимулировало рост и развитие проростков пшеницы. Было доказано, что такой биологический эффект достигнут в условиях засухи разной интенсивности в период вегетации 2021–2022 гг.

Ключевые слова: протравители семян, тебуконазол, пропиконазол, регулятор роста Флороксан, механохимия, многокомпонентные препараты, биологическая эффективность.

DOI: 10.31857/S0002188123100071, **EDN:** LFAQPW

ВВЕДЕНИЕ

Семенной материал является жизненно важным вкладом в устойчивый рост сельского хозяйства, т.к. >90% продуктов питания, производимых из урожая сельскохозяйственных культур, выращивают из семян [1]. Одним из основных этапов в технологии производства зерна является подготовка семян к посеву и защита сельскохозяй-

ственных культур от болезней и вредителей. Протравливание семян фунгицидами является определяющим звеном в системе защиты растений, и наилучший эффект, как правило, дают системные препараты [2]. Поэтому исследования по разработке инновационных препаратов являются актуальными и практически значимыми. К таким перспективным препаратам относятся производные триазола [3]. Но триазольные фунгициды при обработке ими семян зерновых влияют на рост и развитие всходов, уменьшая длину coleoptilia,

[§] Исследование выполнено в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования по направлению 0532-2021-0002.

первого листа и междоузлий, а также при определенных условиях могут негативно влиять на развитие корневой системы [4, 5]. Для нивелирования ретардантного эффекта триазолов важно использовать инновационные составы, содержащие ростстимулирующие препараты. В борьбе с почвенно-семенными инфекциями ученые активно изучают возможности использования пестицидов с лучшим проникновением в растительные ткани, с пониженной нормой расхода, а также новых модификаций препаративных форм, природных биополимеров и экстрактов, комплексов с биологическими и химическими индукторами [6–11].

Традиционной формой для протравителей основных мировых производителей служит концентрат суспензии (КС), где размер частиц действующего вещества в препаратах составляет от 2 до 5 мкм [12]. Препараты на основе тебуконазола (ТБК), полученные методом его механохимической модификации с полисахаридами [13] в виде твердых дисперсий (ТД) и обладающие более высокой степенью водорастворимости, проявляли высокую фунгицидную активность против возбудителей корневой гнили (*Helminthosporium* spp., *Fusarium* spp.) и других видов грибов (в частности, *Penicillium* spp.) при более низких нормах расхода тебуконазола по сравнению с применяемыми на практике препаратами. При этом препараты были не только экономически более выгодными, но и менее токсичными. Образующие в воде из этих ТД супрамолекулярные комплексы способны успешно регулировать численность конидий патогена в ризосфере зерновых культур, выращиваемых в условиях центрально-лесостепного агроландшафтного района Западной Сибири на черноземе выщелоченном [14].

Препаративные формы ТБК в виде суспензионных концентратов [15], полученные без использования традиционных структурообразующих и формообразующих компонентов, показали синергизм биологических свойств, проявляющихся в ускорении роста растений и длины их корневой системы, снижения развития семенных болезней и перспективность использования таких форм ТБК.

Учитывая собственные данные эффективности суспензионных форм ТБК, изучения факторов, влияющих на проникновение протравителей через растительные мембраны в присутствии полисахаридов [16], а также литературные данные [13] об инновационных препаративных формах, нами получены 2- и 3-компонентные протравители, как в виде ТД, так и в виде суспензионного концентрата (СК). Продолжением этих работ являются исследования по созданию многокомпо-

нентных препаратов с включением 2-х триазольных фунгицидов [17].

Цель работы — разработка технологии получения комбинированных препаратов на основе тебуконазола и пропиконазола (ППК) в виде ТД и изучение их биологической активности на растениях яровой пшеницы в условиях Зауралья. При этом также была поставлена задача контроля ретардантного эффекта этих триазолов с помощью отечественного регулятора роста Флороксан.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Тебуконазол (ТБК) — [(RS)-1p-хлорфенил-4,4-диметил-3-(1H-1,2,4-триазол-1-ил-метил)пентан-3-ил] — системный фунгицид, используемый для обработки семян зерновых культур. Относится к триазолам 3-го поколения, проявляет системное действие, эффективен в борьбе с фитопатогенами, передающимися с семенами.

Пропиконазол (ППК) — [(+/-)-1-[2-(2,4-дихлорфенил)-4-пропил-1,3-диоксолан-2-илметил]-1H-1,2,4-триазол] — защитный и лечащий системный фунгицид из класса триазолов. Обладает широким спектром внутрирастительного действия. Применяется в сельском хозяйстве для борьбы с болезнями зерновых культур.

Флороксан (ФЛ) — гидрохлорид N-метил-4-(1 гидроксикарбометокситрифторэтил)анилина. Регулятор роста ряда видов растений [18].

Получение твердых дисперсий на основе ТБК и ППК проводили по ранее описанной методике [13] с использованием полисахарида (АГ) и вспомогательного вещества (силика), как компонентов твердофазной механохимической модификации ТБК и ППК.

Растворимость полученных твердых дисперсий ТБК и ППК определяли методом ВЭЖХ [13]. Результаты представлены в табл. 1. Показано, что при увеличении времени механообработки растворимость компонентов незначительно уменьшалась, что, видимо, было связано с частичным оплавлением ППК, это затрудняло растворение обоих компонентов (ТБК и ППК) при увеличении времени механообработки >1 ч.

Были приготовлены для передачи на испытания 2 препарата в количестве 300 г:

— препарат 1 — ТД состава ТБК : ППК : АГ : силика = 1 : 1 : 7 : 1, в который был добавлен эмульгатор додецилсульфосукцинат натрия (ДССН) в количестве 0.25%. В этом препарате содержание действующих веществ (ДВ) было равно: ТБК — 10, ППК — 10%, увеличение их растворимости было соответственно, в 1.8 и 1.3 раза. Такое увели-

Таблица 1. Динамика растворимости ТД на основе ТБК и ППК с АГ и силикой (содержание ТБК – 10, ППК – 10%)

Образец, № (состав, условия Получения)	Растворимость (ТБК/ППК)	
	Абсолютная, мг/мл	Увеличение, раз
ТБК исходный	36.0	
ППК-исходный	110.0	
Образец 1 (ТД состава ТБК : ППК : АГ : силика = 1 : 1 : 7 : 1 после 1 ч м/о)	58/119	1.61/1.08
Образец 2 (ТД состава ТБК : ППК : АГ : силика = 1 : 1 : 7 : 1 после 3 ч м/о)	56/115	1.56/1.04
Образец 3 (ТД состава ТБК : ППК : АГ : силика = 1 : 1 : 7 : 1 после 5 ч м/о)	52/112	1.44/1.02

Примечание. ТБК – тебуконазол, ППК – пропиконазол, АГ – полисахарид, силика – вспомогательное вещество, ТД – твердая дисперсия, м/о – механическая обработка. То же в табл. 2–7.

чение, по-видимому, можно объяснить поверхностно-активными свойствами ДССН;

– препарат 2 – ТД состава ТБК : ППК : АГ : силика = 1 : 1 : 7 : 1, в который был добавлен регулятор роста Флороксан в количестве 0.25%. В этом препарате, содержащем по 10% ТБК и ППК, существенного увеличения их растворимости не было (соответственно в 1.6 и 1.1 раза).

Условия и методика проведения полевого эксперимента. Для обработки семян яровой пшеницы использовали препарат 1 с добавлением ДССН и препарат 2 с добавлением Флороксана. Обработку проводили ручным способом с расходом рабочего раствора 10 л/т.

Схема опыта включала следующие варианты: контроль без обработки, препарат 1, 0.3 г/т; препарат 2, 0.3 г/т; коммерческий препарат Бункер 0.5 л/га в качестве эталона.

Полевые эксперименты проводили на Центральном опытном поле Курганского НИИСХ – филиала УрФАНИЦ УрО РАН в 2021–2022 гг. Испытания проводили во 2-м поле 3-польного зернопарового севооборота. Сорт яровой пшеницы (*Triticum aestivum* L.) – Омская 36. Площадь опытных делянок – 20 м², повторность четырехкратная, размещение делянок систематическое.

Почва опытного участка – чернозем выщелоченный маломощный малогумусный тяжелосуглинистый. Предпосевную культивацию почвы проводили культиватором КПС-4 непосредственно перед посевом, посев – дисковой селекционной сеялкой ССФК-6. Норма высева семян – 5.0 млн всхожих зерен/га, глубина посева – 5–6 см. Срок посева – 19–22 мая. После посева почву прикатывали катками ЗККШ-6. Уборку проводили напрямую комбайном “Sampro-130”. Наблюде-

ния и учеты вели по общепринятым в РФ методам [19–21].

Погодные условия вегетации 2021 г. характеризовались крайне неравномерным распределением гидротермических ресурсов и в целом были малоблагоприятными для роста и развития растений. В мае и июне практически не было продуктивных осадков (ГТК 0.02 и 0.14 соответственно), что привело к значительному угнетению поста пшеницы. За период вегетации выпало всего 84.8 мм осадков (43% от нормы). Гидротермический коэффициент за май–август составил 0.34, что характеризовало погодные условия как острозасушливые.

В период вегетации 2022 г. погодные условия характеризовались как умеренная засуха летнего типа (ГТК_{05–08} = 0.77). В мае 2022 г. они были близкими к среднегодовым показателям. Июнь отличался недобором тепла, колебаниями дневных и ночных температур воздуха и хорошим увлажнением (82.6 мм или 169% от нормы, ГТК = 1.6). В июле наступила жаркая, с малым количеством осадков погода (ГТК = 0.3). Август также был знойным с недостаточным увлажнением (ГТК = 0.4). Период развития пшеницы от фазы всходов до начала колошения (май–июнь) проходил в достаточно благоприятных условиях, а в период с колошения до начала созревания пшеницы – при жаркой влагодефицитной погоде, что негативно сказалось на наливе зерна.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Появление всходов пшеницы в контроле и в вариантах с обработкой семян протравителями имело отличия. Отмечена задержка их появления

Таблица 2. Влияние препаратов 1 и 2 на полевую всхожесть и пораженность растений пшеницы корневой гнилью в фазе кущения

Показатель	Год	Варианты			
		контроль без обработки	препарат 1 (ТД, ТБК : ППК : АГ : : силика = 1 : 1 : 7 : 1)	препарат 2 (ТД, ТБК : ППК : АГ : : силика = 1 : 1 : 7 : 1 + + Флороксан 0.25%	бункер (эталон), ВСК ТБК 60 г/л
Полевая всхожесть, %	2021	69	72	76	72
	2022	67	67	67	68
	Среднее	68	70	72	70
Развитие корневой гнили, %	2021	12.3	1.5	1.7	2.2
	2022	6.5	0.9	1.1	0.3
	Среднее	9.4	1.2	1.4	1.3
Биологическая эффективность пре- парата, %	2021	—	88	86	82
	2022	—	86	83	95
	Среднее	—	87	85	89
Распространенность корневой гнили, %	2021	36	8	10	16
	2022	62	33	33	14
	Среднее	49	21	22	15

при обработке семян препаратом 2 и эталоном на 1 сут, а в варианте с препаратом 1 — на 2-е сут.

Плотность всходов пшеницы в острозасушливом 2021 г. составила 312–340 шт./м², полевая всхожесть пшеницы — от 69 в контроле до 72–76% — в вариантах с протравителями. Препарат 2 с Флороксаном повышал густоту всходов на 28 шт./м² или на 9% относительно контроля. В 2022 г. полевая всхожесть пшеницы составила 67–68% без значимых отличий между вариантами опыта (табл. 2).

Учет поражения растений яровой пшеницы корневой гнилью был проведен в фазе кущения по методике Чулкиной [22]. В лабораторных условиях определили, что возбудителями болезни являлись грибы рода *Fusarium* spp. и *Bipolaris sorokiniana* при явном преобладании первых. Поражение растений гелиминтоспориозно-фузариозными корневыми гнилями в фазе кущения в 2021 г. было умеренным: в контрольном варианте развитие болезни составило 12.3, распространенность — 36%, в 2022 г. уровень развития заболевания не превышал порога вредоносности (6.5%), однако признаки поражения наблюдали у 62% растений, что было больше сигнального уровня, равного 40% (табл. 2).

Биологическая эффективность изученных протравителей в отношении данного заболевания пшеницы была высокой, составив 85–87%, что было близким к уровню действия эталона.

Параллельно с полевым экспериментом в лабораторных условиях семена пшеницы, обработанные изученными протравителями, были протестированы, и определено влияние препаратов на рост и развитие проростков [23]. Полученные результаты свидетельствовали о том, что длина корней проростков в вариантах с мерами защиты была меньше, чем в контроле, на 1.0–2.3 см, угнетающее действие было несколько слабее при использовании тебуконозола с флороксаном (препарат 2) (табл. 3).

При использовании в практике растениеводства протравителей семян азольного ряда у пшеницы часто отмечают укорачивание coleoptily (подземного междоузлия), что крайне важно учитывать при определении глубины посева обработанных семян. Это рострегулирующее действие отмечалось и в нашем опыте. Подземное междоузлие формировалось значительно короче в вариантах с препаратом 1 и эталоном. При использовании для обработки семян препарата 2 этого не наблюдали. Некоторое отставание в росте было отмечено и у проростков пшеницы в вариантах с препаратом 1 и эталоном: на 1.3–1.5 см короче в сравнении с контролем без обработки семян.

Для определения влияния протравителей на рост и развитие пшеницы в полевых условиях были отобраны растения и определены их биометрические параметры в фазе кущения культуры (табл. 4, 5).

Таблица 3. Влияние препаратов на биометрические параметры проростков и корневой системы пшеницы яровой в лабораторных условиях

Вариант	Корень		Колеоптиль		Проросток	
	количество, шт.	длина, см	длина, см	+/- к контролю	длина, см	+/- к контролю
Контроль без обработки	4.5	7.4	5.4	—	9.5	—
Препарат 1	4.3	5.1	3.4	–2.0	8.0	–1.5
Препарат 2	4.3	6.4	5.7	+0.3	9.1	–0.4
Бункер (эталон)	4.5	5.6	3.3	–2.1	8.2	–1.3
<i>HCP</i> ₀₅	0.9	2.0	1.3		1.0	

Корневая система пшеницы в вариантах с обработкой семян изученными препаратами формировалась с меньшей длиной, чем в контроле, на 0.7–1.9 см. На массу корней протравители оказали положительное действие, особенно эталонный препарат (+9.7%).

Параметры надземных органов проростков пшеницы в вариантах опыта имели отличия. При использовании изученного препарата без регулятора роста отмечено снижение высоты растений на 1.3 см или на 11% относительно контроля, также листья формировались меньшей длины. В эталонном варианте растения были выше на 1.7 см, чем в контроле. Масса надземных органов была больше на 1–6% в вариантах с мерами защиты, особенно при использовании препарата 2 (табл. 5).

В целом пшеница яровая в годы исследования развивалась в условиях дефицита влаги, отмечали почвенную и воздушную засуху (от острой в 2021 г. до умеренной в 2022 г.). Отзывчивость растений в подобных условиях на защитные мероприятия часто бывает невысокой, а агрессивность почвенных инфекций усиливается. Следует отметить, что в вариантах с активным стимулированием и защитой растений в начале вегетации (обработка семян протравителями) в дальнейшем наблюдали большее взаимное угнетение побегов кушения вследствие конкуренции за дефицитный ресурс.

Наблюдения за прохождением пшеницей фенологических фаз развития показало отсутствие отличий между вариантами опыта с начала фазы кушения. На первичном этапе роста и развития (прорастание–3-й лист) несколько отставали растения в вариантах с обработкой семян, возшедшие, как отмечали выше, чуть позднее контроля.

Отбор снопового материала для определения элементов структуры урожая был проведен в фазе полной спелости пшеницы. Высота яровой пшеницы к уборке была небольшой в острозасушли-

вом 2021 г., составив 49–52 см, несколько больше она была в варианте обработки препаратом 2. В условиях умеренной засухи 2022 г. растения пшеницы достигали высоты 92–94 см, также на 2 см больше длина соломины с колосом была в варианте с регулятором роста Флороксан (табл. 6).

Плотность стояния растений была на уровне 295–309 шт./м², несколько гуще – в вариантах с протравителями. Пшеница кустилась слабо в 2021 г. из-за недостатка влаги в июне, а в июле после прошедших дождей процесс формирования дополнительных побегов возобновился, но вызреть они не успели (подгон и подсед). В 2022 г. период кушения проходил в относительно благоприятных условиях, дефицит влаги наблюдали позднее в периоды колошения и налива зерна.

Более густой продуктивный стеблестой (+6–11% к контролю) формировался в вариантах применения изученных препаратов, особенно при обработке семян протравителем, включающим регулятор роста Флороксан (препарат 2). Длина колосьев пшеницы была небольшой, составив в среднем 6.2–6.7 см, показатель был невысоким из-за условий 2021 г., когда в период закладки ор-

Таблица 4. Влияние протравителей семян на параметры корневой системы пшеницы яровой в фазе кушения (2021–2022 гг.)

Вариант	Длина корней, см	Масса корней 1-го растения	
		г	% к контролю
Контроль без обработки семян	8.4	0.567	—
Препарат 1	7.7	0.592	4.4
Препарат 2	6.5	0.577	1.8
Бункер (эталон)	7.0	0.622	9.7

Таблица 5. Влияние протравителей семян на рост и развитие надземных органов пшеницы в фазе кущения (2021–2022 гг.)

Вариант	Высота проростка, см	Длина листа средняя, см	Ширина листа средняя, см	Масса надземных органов, г	% к контролю общей массы растений
Контроль без обработки семян	31.5	17.7	0.55	0.883	—
Препарат 1	30.2	15.8	0.50	0.900	2
Препарат 2	31.5	17.8	0.55	0.935	6
Бункер (эталон)	33.2	17.2	0.50	0.891	1

Таблица 6. Структура урожая яровой пшеницы в фазе полной спелости зерна

Вариант	Год	Число растений	Число стеблей	Число продуктивных стеблей	Высота растений	Длина колоса	Число зерен в колосе, шт.	Масса 1000 зерен, г
		шт./м ²			см			
Контроль без обработки	2021	300	386	296	49	5.3	12.5	35.0
	2022	290	354	324	92	7.1	20.5	37.4
	Среднее	295	370	310	71	6.2	16.5	36.2
Препарат 1	2021	314	412	318	50	5.3	13.6	34.3
	2022	292	374	340	93	8.1	20.0	37.8
	Среднее	303	393	329	72	6.7	16.8	36.1
Препарат 2	2021	312	418	338	52	5.1	13.1	34.2
	2022	306	368	352	94	7.7	19.8	38.0
	Среднее	309	393	345	73	6.4	16.5	36.1
Бункер (эталон)	2021	306	376	336	49	5.2	12.2	34.3
	2022	304	408	340	92	7.1	19.5	37.0
	Среднее	305	392	338	71	6.2	15.9	35.7

гана погодные условия были стрессовыми. На уступе колоса завязалось и налилось в среднем 1.6–1.7 зерен, что было меньше биологического минимума для пшеницы, остальные цветы редуцировались (высокие температуры в период цветения и отсутствие осадков оказали негативное влияние).

Озерненность колосьев в условиях влагодефицита составила только 12.2–13.6 шт. в 2021 г. и 19.5–20.5 шт. – в 2022 г., существенных различий в вариантах опыта не отмечали. Полновесность зерновок пшеницы (масса 1000 зерен) составила в среднем за годы испытания 35.7–36.1 г, и разница показателя в вариантах была незначительной.

Уборка урожая яровой пшеницы была проведена прямым комбайнированием поделочно. Полученные результаты свидетельствовали о том, что обработка семенного материала экспериментальными протравителями в виде твердой дисперсии, содержащими эффективные фунгициды

ТБК и ППК, позволила сохранить 1.0–2.2 ц/га или 7–14% урожайности культуры, произрастающей в засушливых условиях.

Достоверный уровень прибавки урожайности пшеницы яровой получили только в варианте с

Таблица 7. Влияние протравителей семян на урожайность пшеницы яровой (2021–2022 гг.)

Вариант	Урожайность фактическая		
	ц/га	+/- к контролю	% к контролю
Контроль без обработки	15.2	—	—
Препарат 1	16.5	1.3	9
Препарат 2	17.4	2.2	14
Бункер (эталон)	16.2	1.0	7
НСР ₀₅	1.4		

обработкой препаратом 2, в составе которого помимо вышеобозначенных фунгицидов содержался регулятор роста растений Флороксан (+14% к контролю), что было в 2 раза больше, чем в варианте с эталоном (табл. 7).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, с целью получения комбинированных препаратов с полифункциональным спектром действия была использована механохимическая технология, суть которой заключается в совместной механообработке действующих веществ фунгицидов и регулятора роста с полимерами. Были получены препараты в виде твердых дисперсий с незначительно повышенной растворимостью компонентов — тебуконазола и пропиконазола.

Биологическая эффективность экспериментальных препаратов для обработки семян составила 85–87% (объектом контроля была фузариозно-гельминтоспориозная корневая гниль), что было на уровне эффективности коммерческого препарата, взятого за эталон. Кроме этого, значительно уменьшалось число больных растений в вариантах с мерами защиты. За счет применения протравителей были получены прибавки урожайности яровой пшеницы 9–14%, статистически достоверными они были только в варианте применения препарата 2 ТД состава ТБК : ППК : АГ : силика = 1 : 1 : 7 : 1 + Флороксан 0.25%. Основным элементом структуры урожая, положительно реагирующим на меры защиты, было число продуктивных стеблей (+ 6–11% к контролю).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Schwinn F. Seed treatment, progress, and prospects. Proceedings of a symposium organised by the British Crop Protection Council and the Pesticides Group of the Society of Chemical Industry and held at the University of Kent, Canterbury on 5–7 January 1994. Published 1994 by British Crop Protection Council in Farnham, Surrey, UK. 1994. 482 p.
2. Edgington L.V., Martin R.A., Bruin G.C., Parsons I.M. Systemic fungicides: a perspective after 10 years // Plant Disease. 1980. № 64 (1). P. 20–23.
3. Montfort F., Klepper B.L., Smiley R.W. Effects of two triazole seed treatments, triticonazole and triadimenol, on growth and development of wheat // Pest Manag. Sci. 1996. № 46. P. 299–306.
4. Korsukova A.V., Gornostai T.G., Grabeinykh O.I., Dorofeev N.V., Pobezhimova T.P., Sokolova N.A., Dudareva L.V., Voinikov V.K. Tebuconazole regulates fatty acid composition of etiolated winter wheat seed lings // J. Stress Physiol. Biochem. 2016. № 12 (2). P. 72–79.
5. Горина И.Н. Имазалилсодержащие протравители для зерновых культур // Защита и карантин раст. 2013. № 4. С. 55–57.
6. Малюга А.А., Чуликова Н.С., Халиков С.С. Эффективность инновационных препаратов на основе тебуконазола, тирама и карбендазима против болезней картофеля // Агрохимия. 2020. № 7. С. 57–67.
7. Volova T.G., Prudnikova S.V., Zhila N.O. Fungicidal activity of slow-release P(3HB)/TEB formulations in wheat plant communities infected by *Fusarium moniliforme* // Environ. Sci. Pollut. Res. 2018. V. 25. I. 1. P. 552–561.
8. Asrar J., Ding Y., La Monica R.E., Ness L.C. Controlled release of tebuconazole from a polymer matrix micro-particle: release kinetics and length of efficacy // J. Agric. Food Chem. 2004. № 52. P. 4814–4820. <https://doi.org/10.1021/jf0306385>
9. Banik S., Pérez-de-Luque A. In vitro effects of copper nanoparticles on plant pathogens, beneficial microbes and crop plants // Span. J. Agricult. Res. 2017. V. 15. I. 2. e1005. <https://doi.org/10.5424/sjar/2017152-10305>
10. Власенко Н.Г. К вопросу об агротехнологиях вообще и фитосанитарных технологиях в частности // Вестн. защиты раст. 2008. № 2. С. 3–10.
11. Кекало А.Ю., Немченко В.В., Заргарян Н.Ю., Филиппов А.С. Фитосанитарные проблемы пшеничного поля и эффективность средств защиты от болезней // Агрохимия. 2020. № 10. С. 45–50. <https://doi.org/10.31857/S0002188120100038>
12. Каракотов С.Д., Сараев П.В. Препаративные формы современных пестицидов // Адаптивно-интегрированная защита растений. М.: Печатный город, 2019. 628 с.
13. Халиков С.С., Душкин А.В., Давлетов Р.Д., Евсеев В.И. Создание инновационных фунгицидных средств на основе тебуконазола с привлечением механохимических процессов // Фундамент. исслед.-я. 2013. № 12 (10). С. 2695–2700.
14. Теплякова О.И., Власенко Н.Г., Душкин А.В., Халиков С.С. Влияние обработки семян механокомпозициями тебуконазола на накопление спор *Bipolaris sorokiniana* Shoem. в черноземе выщелоченном // Агрохимия. 2018. № 5. С. 33–38. <https://doi.org/10.7868/S0002188118050058>
15. Vlasenko N.G., Khalikov S.S., Burlakova S.V. Flexible technology of protectants for grain seeds // IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci. 548 082003. P. 10. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/548/8/082003>
16. Selyutina O.Y., Khalikov S.S., Polyakov N.E. Arabinoxylan and glycyrrhizin based nanopesticides as novel delivery systems for plant protection // Environ. Sci. Pollut. Res. 2020. V. 27. P. 5864–5872. <https://doi.org/10.1007/s11356-019-07397-9>
17. Халиков С.С., Теплякова О.И., Власенко Н.Г. Влияние препаративных форм тебуконазола на фитосанитарное состояние обработанных семян, рост и развитие проростков яровой пшеницы // Агрохимия, 2022. № 2. С. 45–55. <https://doi.org/10.31857/S0002188122020065>

18. Чкаников Н.Д., Свиридов В.Д., Кадыров А.А., Спиридонов Ю.Я. Композиция для обработки семян, обладающая рострегулирующим действием: Пат. РФ № 2369094, опублик. 10.10.2009 // Б.И. 2009. № 28.
19. Методические указания по регистрационным испытаниям фунгицидов в сельском хозяйстве. СПб.: ВИЗР, 2009. 378 с.
20. Методика государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур. М.: Колос, 1989. 239 с.
21. Экологический мониторинг и методы совершенствования защиты зерновых культур от вредителей, болезней и сорняков: метод. рекоменд. / под ред. В.И. Танского. СПб.: ВИЗР, 2002. 76 с.
22. Торопова Е.Ю. Экологические основы защиты растений от болезней в Сибири. Новосибирск, 2005. 370 с.
23. ГОСТ 12044-93 Семена сельскохозяйственных культур. Методы определения зараженности болезнями. Методы анализа: Сб. ГОСТов. М.: ИПК Изд-во стандартов, 2004. 55 с.

Combined Triazole Disinfectants and Their Influence on the Growth and Development of Spring Wheat Seedlings

A. Yu. Kekalo^{a, #}, S. S. Khalikov^b, M. M. Ilyin^b, N. D. Chkanikov^b, and N. Yu. Zargaryan^a

^aUral Federal Agrarian Scientific Research Centre, Ural Branch of the RAS
ul. Belinskiy 112a, Ekaterinburg 620142, Russia

^bA.N. Nesmeyanov Institute of Organoelement Compounds of the RAS
ul. Vavilova 28/1, Moscow 119334, Russia

[#]E-mail: alena.kekalo@mail.ru

Seed treatment with fungicides is a crucial link in the plant protection system, and systemic drugs give the best effect. Therefore, it is very important to develop scientific foundations for the preparation of complex preparations with a low rate of consumption of the active substance and the inclusion of plant growth regulators that enhance growth processes and the yield of the main crop. In recent years, the directions of modification of known and practiced fungicides by various methods, including methods of mechanochemistry, have been promising. The problem of creating both new substances and their effective formulations remains urgent. Taking into account the prospects and high efficiency of triazole fungicides in the system of complex plant protection, the creation of multicomponent seed protectants of grain crops is proposed. The purpose of this study was to develop preparations based on tebuconazole (TBC) and propiconazole (PPC) in the form of solid dispersions (SD) and to study their biological activity on spring wheat plants in the conditions of the Trans-Urals. At the same time, the retardant effect of these triazoles was also studied with the help of the domestic growth regulator Floroxan. The use of new preparations on spring wheat made it possible to reduce the damage to the culture by root rot by 85–87%, productive bushiness increased by 6–11% compared to the control without treatment. A reliable increase in crop yield of 2.2 c/ha or 14% was obtained using preparation 2 (TD of the composition TBC : PPC : AG : silica = 1 : 1 : 7 : 1 + Phloroxane when the polysaccharide (AG) and the auxiliary substance of silica are included in the composition). The inclusion of the growth regulator Floroxan in the composition of the mordant mixture reduced the antioxidant effect of tebuconazole and stimulated the growth and development of wheat seedlings. It was proved that such a biological effect was achieved in conditions of drought of varying intensity during the growing season of 2021–2022.

Keywords: seed protectants, tebuconazole, propiconazole, growth regulator Floroxan, mechanochemistry, multicomponent preparations, biological efficacy.